

文章编号:1007-2780(2018)03-0195-07

LCD 面板 TFT 特性相关残像研究

许 卓*, 金熙哲, 吴海龙, 周 焱, 张 智, 闵泰烨, 袁剑峰

(重庆京东方光电科技有限公司 产品技术部, 重庆 400700)

摘要:残像是影响 TFT-LCD 画面品质的重要因素,也是发生原因最为复杂的一种不良。本论文提出了一种定量测量残像水平的方法,同时对 TFT 特性引起的残像不良进行了实验研究,得到了由 TFT 特性引起的交流(AC)残像发生规律及发生机理。本文通过对比研究残像画面黑白格亮度与 TFT 漏电流变化曲线,同时结合像素充放电计算公式进行电压差模拟,发现黑白格像素放电差异导致的像素保持电位差异($\Delta V > 12.5$ mV)是发生残像的根本原因。根据以上机理,本论文提出了两种方法改善此类残像。第一种是通过改善 TFT a-Si 成膜工艺减小漏电流(< 50 pA),同时提升 TFT 特性的稳定性,可以减小棋盘格画面残像评价导致的 TFT 转移特性曲线偏移;第二种是通过改变栅压低电平,避开关态时不同显示区域的 TFT 漏电流差异峰值;以上两种方法均可以有效改善残像($\Delta L < 0.5$ cd/m²)。

关键词: 残像, 薄膜晶体管, 交流驱动, 漏电流, 保持电压

中图分类号: TN141.9 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/YJYXS20183303.0195

Influence of TFT character on LCD image sticking

XU Zhuo*, JIN Xi-zhe, WU Hai-long, ZHOU Yan, ZHANG Zhi,
MIN Tai-ye, YUAN Jian-feng(Product Technology Department, BOE Optoelectronics Technology CO., LTD,
Chongqing 400700, China)

Abstract: Image sticking(I.S.) is a main factor that lowers the display quality in TFT-LCD, and it is also the most complicated issue that occurred on LC display. In this study, measuring method of I.S. level is proposed, and experiments are performed to find the relationship between image sticking and TFT transfer curve. The feature of AC image sticking is discovered, and the mechanism of the image sticking is obtained. By analyzing the luminance and TFT I_{off} (Leakage current at TFT off state) on white(W) and black(B) area at chessboard image and comparing the simulation results, we find that the recharging difference of pixels on W and B area, which can be result in different pixel holding voltage($\Delta V > 12.5$ mV), is responsible for image sticking. Based on this mechanism, we introduced two methods to improve image sticking. One way is to lower the TFT I_{off} (< 50 pA) and stabilize the TFT character during a-Si formation process, which can effectively decrease the shift of TFT transfer curve during the I.S. image aging. Another way is to adjust the gate low voltage(VGL) to a proper value that

收稿日期:2017-10-09;修订日期:2017-11-15.

* 通信联系人, E-mail: xuzhuo@boe.com.cn

can deviate from the peak of ΔI_{off} curve of W and B area. This two methods is proved to solve the AC image sticking effectively($\Delta L < 0.5 \text{ cd/m}^2$).

Key words: image sticking; TFT; AC driving; leakage; holding voltage

1 引言

液晶显示器由于视角广、画质好、低耗电、寿命长等种种优势在手机、笔记本及电视面板行业占据绝对市场份额。而随着人们对显示质量的要求不断提高,液晶面板存在的显示问题——残像,是业界持续改善的一项重要不良。当液晶显示器长时间停留于某一画面再切换到另一画面时,原有画面形成影响残留(Image Sticking),称为残像^[1]。引起残像的原因有很多,当液晶组分或取向膜稳定性较差时,由于离子吸附构成内建电场容易形成残像^[2],而当驱动信号产生非对称直流成分或一定程度的 TFT 漏电流时,也会形成残像^[3]。现有主流残像的发生机理中,主要包含两个因素,一个是液晶面板中包含的离子型不纯物,第二是形成偏置电压,二者缺一不可^[4]。本文主要通过在实际液晶面板制造过程中遇到的面残像问题,对残像发生规律以及面板 TFT 特性之间的关联进行了深入分析,最终发现了一种新的基于 TFT 特性差异化导致的交流(AC)残像发生机理,为改善 TFT 特性相关面残像提供了理论依据。

2 残像评价实验

2.1 样品制备

我们基于 a-Si 图案化的灰化工艺制备了 32 英寸高清分辨率液晶显示屏样品。其中 TFT 的制造使用有源层与源漏层连续成膜,一次曝光,PR(Photo Resin)灰化,两次湿刻与两次干刻的工艺。其中,金属层成膜使用磁控溅射工艺(Sputter)进行,非金属层成膜使用化学气相沉积工艺(CVD)进行,湿刻使用酸性刻蚀液进行,干法刻蚀使用 ECCP 工艺进行。具体制造流程如图 1 所示。以上工艺形成的 TFT 在源漏极下方存在有源层,且有源层会外延出源漏极一定的宽度(以下称 Active Tail),因此在受到光照时漏电流(以下称 I_{off})会有较大幅度的上升,完成后的样

品像素及 TFT 如图 2 所示。使用此工艺制造 TFT 基板的好处是可以减少工艺步骤提升液晶屏制造产能,而缺点则是由于存在 Active Tail 而会额外增加背光照射下 TFT 的漏电流。

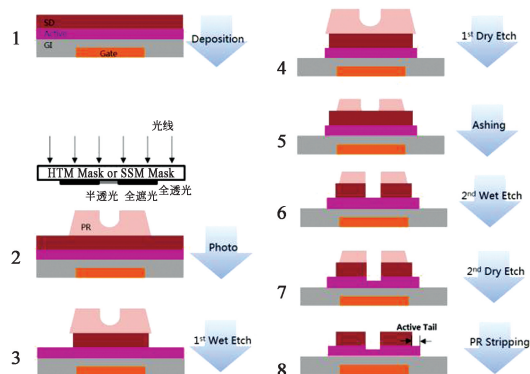


图 1 TFT 制造工艺流程图

Fig.1 TFT manufacturer process

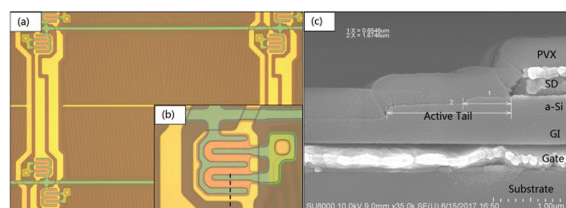


图 2 ADS 样品像素图。(a)像素俯视图;(b)TFT 俯视图;(c)TFT SEM 截面图。

Fig.2 Pixel of ADS Panel. (a) Pixel top view; (b) TFT top view; (c) TFT SEM section view.

2.2 残像评价实验

TFT-LCD 面板的残像评价实验一般使用棋盘格画面进行点灯老化,这种方法是业内通用的最有效的评价方法,因为黑白区可以对应施加最低与最高的像素电压。显示屏按照亮度从最低到最高分 255 个灰阶来驱动,棋盘格画面采用交错相间的黑白格组成,其中黑格区域对应灰阶为 L0,白格区域对应灰阶为 L255,本实验中显示屏被黑白格划分成 5×7 的正方形区域,如图 3(a)所示。残像评价通常在常温或高温下进行,期间液晶显示屏保持静态的棋盘格画面点灯状态。

残像评价 168 h 以后对显示画面切换为中间灰阶(L127 灰阶)画面,这时黑白格区域亮度差异最明显,这是因为液晶的电压-透过率曲线(V-T 曲线)在中间灰阶位置斜率最大^[5],较小的电压差异能产生较大的亮度差异。图 3(b)是残像判定之 127 灰阶画面示意图,当残像程度轻微时屏幕黑白格区域位置均显示同一亮度,而当残像程度较重时屏幕黑白格区域位置有明显的亮度差异,本实验样品所产生的残像为面残像,同时也为正残像^[1]。

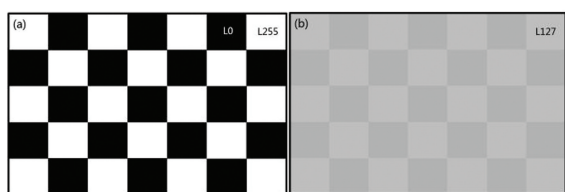


图 3 (a)本实验残像评价画面;(b)本实验残像判定画面及残像示意图。

Fig. 3 (a) I.S. aging image in this experiment; (b) I.S. judging image in this experiment.

为了定性分析残像发生原因,我们进一步对样品进行了其他条件的残像评价测试。主要对比了液晶盒(以下称 Cell)正置背光照射、正置背光遮光照射、Cell 反置背光照射、反置背光遮光照射四种评价条件下的残像结果,其中 Cell 正置意为 TFT 阵列基板朝向背光,Cell 反置意为彩膜基板(Color Filter,CF)朝向背光。残像评价结果如表 1 所示,我们发现当 Cell 正置且不遮光条件下残像水平较重,而正置遮光条件下基本无残像,而 Cell 反置遮光与不遮光条件下均无出现残像。根据样品 #1 和样品 #3 实验结果我们推测,样品发生残像主要受背光照射 TFT 阵列基板影响而不受背光照射彩膜基板影响,根据样品 #1 和 #2 背光遮光部分和不遮光部分的残像评价结果我们推测,样品的 TFT 阵列受到背光照射而发生残像。另外,经过 168 h(7 d)残像评价以后,我们将屏取出放置 1 h 再进行残像评价,发现残像程度有所减轻,我们推测静置可以消除液晶屏内部的直流残留影响。然而最终经过(168+1)h 后

表 1 不同条件残像评价实验结果

Tab.1 I.S. results under different experimental conditions

Panel	Experimental conditions			Sample No.	Shading B.L.		Without shading B.L.	
	Temp.	B.L.	Laying		168 hr	168 hr+1 hr	168 hr	168 hr+1 hr
32HD	25 °C	5 000 cd/m ²	CF Side	# 1	L1	<L1	>L3	L3
			Up	# 2	L2	<L1	>L3	L3
			CF Side	# 3	L3	<L1	>L1	L1
			Down	# 4	L4	<L1	>L1	L1

的残像水平并不能减轻,并且调节公共电压也未发生残像轻重区域转移,因此我们定性判断为交流残像(AC)。

2.2 残像水平判定方法

我们使用 CA-310 光学测试设备分别测试黑白格位置的亮度,并使用黑白格亮度差 ΔL 来定量衡量残像水平。图 4(a)是残像定量测试示意图,在 L127 灰阶画面下残像区域黑格与白格区域形成十字分界线,黑格区 1、3 位置对应的亮度为 L_{p1} 和 L_{p3} ,白格区 2、4 位置对应的亮度为 L_{p2} 和 L_{p4} ,则

$$L_{\text{Black}} = (L_{p1} + L_{p3})/2,$$

$$L_{\text{White}} = (L_{p2} + L_{p4})/2,$$

$$\Delta L = L_{\text{White}} - L_{\text{Black}} = (L_{p2} + L_{p4} - L_{p1} - L_{p3})/2, \quad (1)$$

为了探究残像与 TFT 充放电的相关性,我们对屏幕进行了调节栅压高电平(VGH)、栅压低电平(以下称 VGL)与公共电压的实验,最终我们发现调节栅压低电平对残像水平有明显影响(如图 4(b))。我们发现若 ΔL 达到 0.5 cd/m² 时会被人眼觉察到,我们定义为 L1(Level 1)水平,而 $\Delta L \geq 1.5$ cd/m² 时则肉眼可观察到较为严重的程度,因此对图 4(b)样品的残像水平我们定义为 L3 水平。

2.2 残像水平判定方法

我们在上一步评价完成后,同样按照图 4(a)

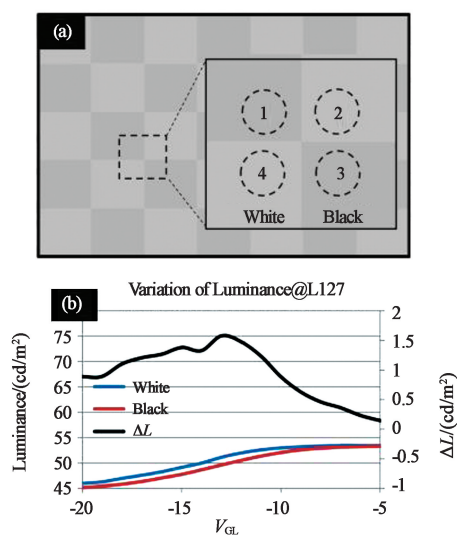


图 4 (a)残像亮度测试示意图;(b)残像屏亮度测试结果.
Fig.4 (a) Luminance measuring method in this research; (b) Luminance measurement for I.S. investment.

中对应的 4 个区域分别进行 TFT 转移特性曲线测试,其中黑白格对应的漏电流同样采用 1、3 和 2、4 位置取均值的方法。TFT 测试条件为源极(连接像素端)接地,漏极(连接数据线)给 10 V 常压,栅极(连接栅线)从 $-30\text{ V} \sim +30\text{ V}$ 进行扫描加压,最终测试源极和漏极之间的电流 I_{ds} 。

3 结果与分析

3.1 残像水平光学评价结果

图 5 是对两片严重残像程度的液晶屏(水平 L3 以上)测试黑白格亮度差异随栅压低电平变化示意图。图 5(a)中黑格区亮度要低于白格区,在栅压低电平为 -9.8 V 时亮度差异最大,达到 2.38 cd/m^2 ,此时残像最严重,而当 $V_{GL} > -5\text{ V}$ 或 $V_{GL} < -15\text{ V}$ 时的 $\Delta L < 0.5\text{ cd/m}^2$,此时残像基本消失。

图 5(b)是另一片不同残像水平的屏测试黑白格亮度差异随栅压低电平变化曲线,黑白格区域在灰阶画面下亮度差为 2.29 cd/m^2 ,残像水平为 L3 以上;测试结果表明屏 2 的残像等级峰值位置(-9 V)与屏 1 不同,但是残像变化曲线随栅压低电平变化规律大体一致。

3.2 TFT 特性评价结果

根据之前的测试结果我们判断该残像与 TFT 特性相关,我们对上述两片样品进行了

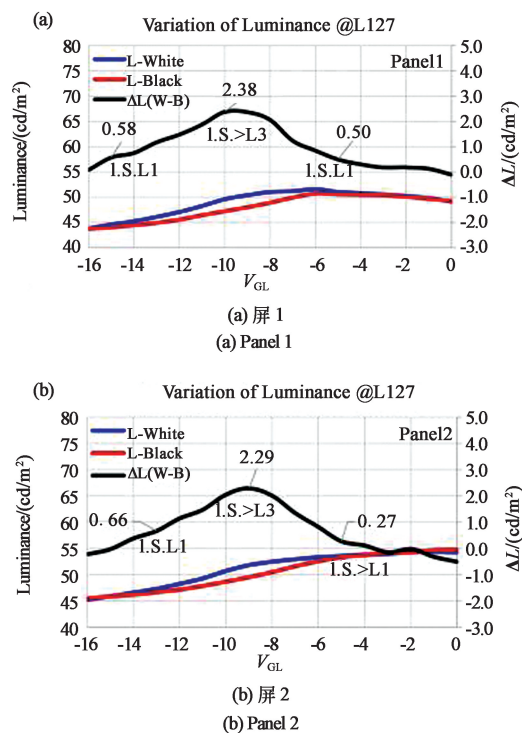


图 5 残像屏亮度及残像等级随 V_{GL} 变化规律
Fig. 5 Luminance and I. S. feature varies with V_{GL} changing

TFT 转移特性曲线测试,结果如图 6 所示。黑白格 TFT 特性曲线在栅源电压(以下称 V_{gs})小于 0 V 区域内有较大差异(图中只截取了 $V_{gs} < -4\text{ V}$ 时的测试数据),我们用 ΔI_{off} 来衡量黑白格 TFT 漏电流差异,计算公式为 $\Delta I_{off} = I_{ds}(\text{黑格}) - I_{ds}(\text{白格})$,测试结果表明在 $V_{gs} < 0\text{ V}$ 区域内 $\Delta I_{off} > 0$,表示黑格区漏电流大于白格区。同时图 6(a)中 ΔI_{off} 峰值(48.6 pA)位置在 V_{gs} 为 -13.2 V ,表示此时的黑白格漏电流差异最大。

图 6 中, V_{gs} 表示栅极与源极之间的压差,在像素充电过程中, V_{gs} 满足公式

$$V_{gs} = V_{GL} - V_{source}, \quad (2)$$

我们实测 L127 灰阶画面下的相邻像素 V_{source} 为 4 V 与 12 V ,同时在极性反转驱动下的像素下一帧写入电压则为 12 V 与 4 V ,因而实际在 V_{gs} 计算公式中 V_{source} 应取为 4 V ,这样 TFT 对应产生最大的漏电流。我们对图 4 中两片屏的黑白格 ΔI_{off} 峰值处的 V_{gs} 根据式(2)进行换算,可以得到屏 1 和屏 2 漏电流差异峰值处对应的 V_{GL} 分别为 9.2 V 和 9 V 。再对比图 4 中两片样品测试的黑白格亮度差异曲线我们发现, ΔL 与 ΔI_{off} 具

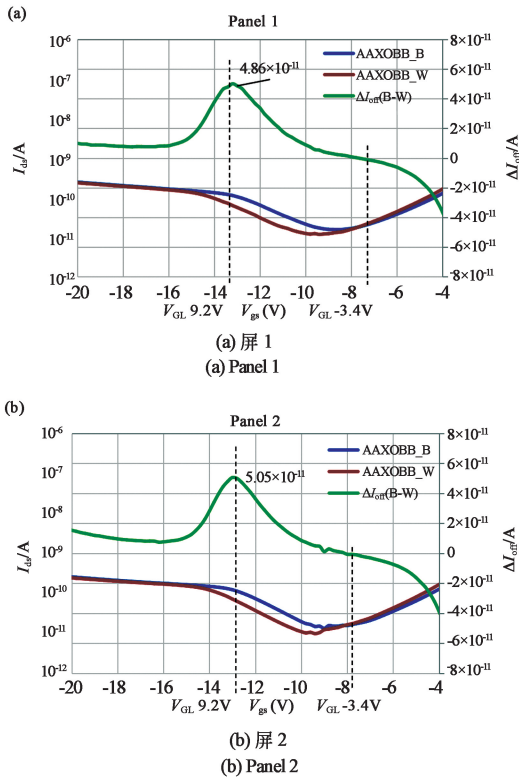


图6 残像屏黑白格 TFT 转移特性曲线差异
Fig.6 D-value of TFT transfer curve at the area of B and W pattern

有相同的变化趋势。

3.3 像素电压模拟分析

由于像素保持电压与公共电位的压差作用在液晶盒两端最终使得液晶透过一定的亮度,因此引起残像黑白格亮度差异的本质原因是像素保持电压的差异。像素经过充电以后进入保持阶段,会由于漏电流的原因导致保持电压不断下降,下降的电压我们用 V_{HR} 来表示。图 7(a) 和图 7(b) 分别表示正极性帧情形下和负极性帧情形下的像素电压变化曲线,在显示时间内像素先达到充电电压 V_0 ,再经历一次跳变电压 ΔV_p ^[6],再经历一次漏电流导致的 V_{HR} ,最终达到一个实际像素的保持电压 V_p 。正负帧情形下 V_p 的计算如下:

$$\begin{cases} V_{p \text{ 正帧}} = V_0 - \Delta V_p - V_{HR} \\ V_{p \text{ 负帧}} = V_0 - \Delta V_p + V_{HR} \end{cases} \quad (3)$$

通过仿真软件利用黑白格漏电流实测数据进行保持电压的模拟,可以得到在一定的存储电容情形下像素 V_{HR} 电压变化随 V_{GS} 的变化曲线。同时,我们实测 L127 画面下的正负极性驱动电压分别为 4 V 和 12 V,因此我们再通过式(2)进行

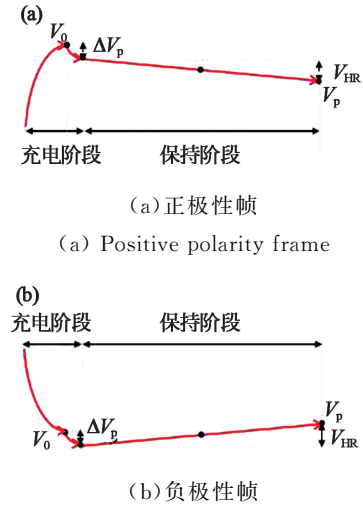


图7 像素电压波形
Fig.7 Pixel voltage waveform

换算得到 V_{HR} 随 V_{GL} 的变化曲线,如图 8(a) 所示,可以看到黑白格区域 TFT 关断时 V_{GS} 由于正负极性反转时存在差异,保持电压下降 V_{HR} 在正负

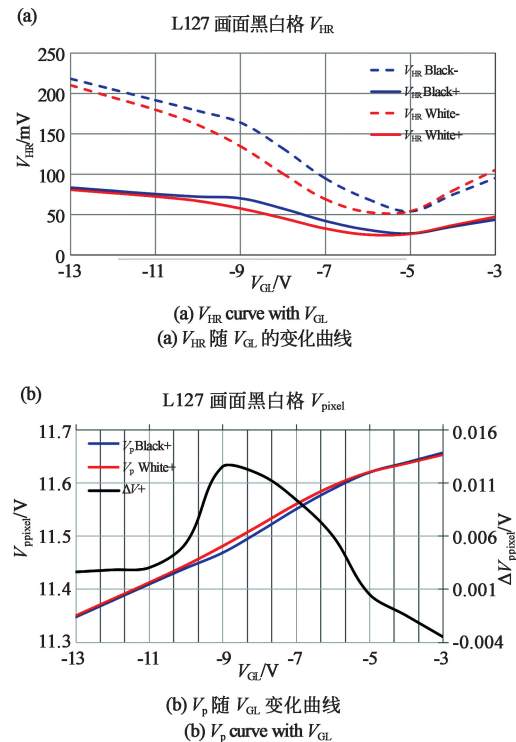


图8 像素电压模拟结果

Fig.8 Pixel voltage simulation results

极性反转情况下也存在差异;结合式(3),我们计算黑白格位置正帧 L127 画面下对应的的像素电

压曲线如图 8(b)所示。计算结果表明,残像评价后黑白格区域的像素保持电压存在差异,在 V_{GL} 为 -9 V 时 ΔV 达到 12.5 mV ,这是造成残像的根本原因。通过对图 8(b)与图 5 对比我们可以发现 V_p 差异峰值与亮度差异峰值在同一个 V_{GL} 位置,表示以上模拟结果与残像测试结果基本吻合。

4 改善方案探讨

由于黑白格 TFT 特性差异是在残像评价过程中发生的,因此提升 TFT 器件对光照及温度的耐受稳定性是改善此类残像的工艺方向。表 2 是本次实验中不同 a-Si 成膜条件下产出屏的残像水平测试结果。实验结果表明,降低 a-Si 与源漏极之间的过渡层(表 2 中所示 N+ a-Si)厚度、降低 a-Si 低速成膜工艺(表 2 中所示 AL)中的 H_2 气体比例、提升 N+ a-Si 刻蚀后处理工艺(表

2 中所示 N+ AT)中的 SF_6 气体比例,同时减小栅极膜层的坡度角(表 2 中所示 Gate Profile)和减小有源层对于源漏极的外延(表 2 中所示 Active Tail),可以降低 TFT 光照状态下的漏电流以及提升阈值电压(V_{th}),在经过残像评价以后具有更小的漏电流和阈值电压的漂移量(参考表 2 中样品 #3 数据)。多次实验数据表明,当存储电容为 3.1 pF 时,具有初态水平漏电流小于 50 pA 且阈值电压大于 1.5 V 的 TFT 样品,最终经过残像评价后黑白格位置漏电流差异将达到小于 12 pA 且阈值电压差异达到小于 0.5 V 的程度,这样对应的黑白格区域在 127 灰阶下显示的亮度差异将小于 0.5 cd/m^2 ,因而不能被人眼觉察为残像。图 9(a)是 L3 残像水平显示屏实拍效果图,图 9(b)是表 2 中 #3 显示屏样品实拍效果图,可以看到残像改善后的显示屏黑白格位置的亮度差异人眼基本不可见。

表 2 不同 a-Si 成膜条件屏 TFT 特性及残像评价结果

Tab.2 TFT character and I.S. judge results at different a-Si formation conditions

Panel	Array process conditions				Sample No.	Initial character		Character shift		I.S. level
	N+ Thickness (nm)	H_2 proportion at AL	SF_6 proportion at N+ AT	Other conditions		Photo I_{off}/pA	V_{th}/V	$\Delta I_{off}/\text{pA}$	$\Delta V_{th}/\text{V}$	
32 HD	50	Low	High	Decrease	# 1	68	-0.1	17	0.3	L1
		High	Low	Gate Pofile,	# 2	81.5	-0.25	28	0.6	L2
	30	Low	High	Decrease	# 3	43	1.55	9	0.35	<L1
		High	Low	active tail	# 4	62	0.8	15	0.45	L1

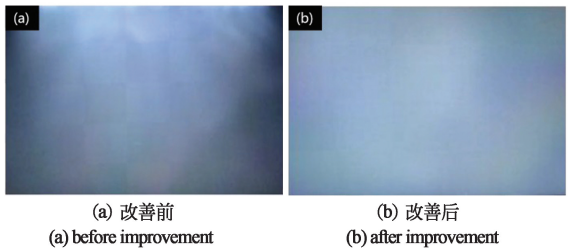


图 9 残像改善实验屏显示效果

Fig.9 Display exhibition of I.S. improved panel

另外,我们根据残像随 V_{GL} 的变化规律,在现有 L3 残像水平的液晶显示屏的基础上,通过从 -8 V 至 -5 V 提升 V_{GL} 可以有效进行改善。其

原理是利用了黑白格区域 ΔI_{off} 随 V_{GL} 提升而减小,进而将残像水平降低到 L1 甚至 L1 以下,这是见效最快的方法。而提升 V_{GL} 是否会对液晶屏带来其他附加不良效果,则需要研究者再进一步实验验证。

5 结 论

本论文通过黑白格画面老化对 LCD 屏进行残像评价,通过中间灰阶画面(L127)进行残像判定,并进行亮度差异解析,最后基于转移特性曲线可以进行像素保持电压模拟,得到了与 TFT 特性相关的 AC 残像发生机理。此类残像既与离子

型不纯物无关,也与偏置电压无关,而是黑白格位置的 TFT 经过残像评价以后产生了不同程度的变化,其中的漏电流变化差异导致了不同位置漏电压的差异,进而产生了写入同一灰阶电压的像素保持电压的差异。同时我们也提出了两种有效的残像改善方案,一种是通过 a-Si 成膜工艺条件的改变,例如,提升了 a-Si 对于残像评价条件(老化画面)的耐受性,进而降低了残像评价对不

同位置的 TFT 产生的漏电流变化量($<12\text{ pA}$),最终减轻残像;另一种是通过适当提升栅压低电平来规避在 -8 V 左右产生的黑白格位置 ΔI_{off} 峰值进而减轻残像。通过以上两种改善方法均可以将 I.S.水平从 L3 以上(对应黑白格位置亮度差异大于 1.5 cd/m^2)降低到 L1 以下(对应黑白格位置亮度差异小于 0.5 cd/m^2),达到人眼难以识别的程度。

参 考 文 献:

- [1] 焦峰,王海宏.TFT-LCD 残像原理与分析(基础篇)[J].现代显示,2012(4):54-59.
JIAO F, WANG H H. The theory and analysis of TFT-LCD image sticking (Basis) [J]. *Advanced Display*, 2012 (4): 54-59. (in Chinese)
- [2] 王丹,梁晓,唐洪.TFT-LCD 液晶材料对显示残像的影响[J].液晶与显示,2008,23(4):412-415.
WANG D, LIANG X, TANG H. Influence of TFT-LCD liquid crystal mixture on image sticking [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2008, 23(4): 412-415. (in Chinese)
- [3] 焦峰,王海宏.TFT-LCD 残像原理与分析-加强篇一[J].现代显示,2012(5):16-20.
JIAO F, WANG H H. The theory and analysis of TFT-LCD image sticking-Upgrade I [J]. *Advanced Display*, 2012(5): 16-20. (in Chinese)
- [4] 林鸿涛,郇玉生,胡海琛,等.TFT-LCD 中驱动信号对线残像的改善研究[J].液晶与显示,2012,27(3):359-363.
LIN H T, XI Y S, HU H C, et al. Improvement research of line image sticking by drive signal in TFT-LCD [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2012, 27(3): 359-363. (in Chinese)
- [5] 马群刚.TFT-LCD 原理与设计[M].北京:电子工业出版社,2011.
MA Q G. *TFT-LCD Theory and Design* [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2011. (in Chinese)
- [6] 马占洁.改善 a-Si TFT LCD 像素电极跳变电压方法研究[J].现代显示,2009(4):19-22,27.
MA Z J. The investigation to improve kickback voltage of pixel electrode of a-Si TFT LCD [J]. *Advanced Display*, 2009(4): 19-22, 27. (in Chinese)

作者简介:许卓(1988—),男,湖南长沙人,硕士,工程师,2011 年于山东大学获得学士学位,2014 年于中山大学获得凝聚态物理硕士学位,现为重庆京东方光电科技有限公司高级研究员,主要从事 TFT-LCD 面板设计及产品技术相关工作。E-mail:xuzhuo@boe.com.cn